

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.05.013

田晔林, 王文和, 汪 阂. 北京百花山自然保护区地面生苔藓植物与生态环境的关系[J]. 广西植物, 2014, 34(5): 657-663

Tian YL, Wang WH, Wang T. Relationships between terrestrial bryophytes and eco-environmental factors in Baihua Mountain National Nature Reserve in Beijing[J]. *Guihaia*, 2014, 34(5): 657-663

## 北京百花山自然保护区地面生苔藓植物与生态环境的关系

田晔林, 王文和, 汪 阂

(北京农学院 园林学院, 北京 102206)

**摘 要:** 运用典范对应分析法, 定量分析了北京百花山自然保护区 37 个森林植被样地中 33 种主要地面生苔藓植物与生态环境之间的关系, 结果表明: 该区森林植被样地与环境因子的关系呈现多元化特点: 相同植被聚为一组、环境因子相似的植被聚为一组、植被相同环境因子不同归为不同组和生境特殊的植被自成一组。得出该区多数地面生苔藓植物的分布与乔木郁闭度的相关性最大且与人为干扰程度密切相关, 少数种类与草本层盖度和灌木盖度呈正相关。此外凋落物盖度、海拔、苔藓植物的生长基质也直接影响苔藓植物的分布。

**关键词:** 地面生苔藓植物; 北京百花山自然保护区; 典范对应分析; 环境因子

中图分类号: Q948.12 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2014)05-0657-07

## Relationships between terrestrial bryophytes and eco-environmental factors in Baihua Mountain National Nature Reserve in Beijing

TIAN Ye-Lin, WANG Wen-He, WANG Tian

(College of Gardening, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China)

**Abstract:** The method of Canonical Correspondence Analysis was used to analyzed the data of terrestrial bryophytes of 37 forest sites in Mt. Baihua. The relationships between the terrestrial bryophytes and the environmental variables were revealed in the biplots of CCA: same forests became a group, forests in similar environment get together, the same forest in different environment became a group and some forest in special environment gather a group. Based on the correlation coefficients of the environmental variables with the first two axes, the environmental variables that decided the distribution of the 33 bryophytes were canopy density, shrub coverage, altitude, base and human disturbance. CCA two-dimensional ordination diagram of 37 sites of forests-environmental factors showed the diversities character between the sites and environmental variables.

**Key words:** the terrestrial bryophyte; the Mt. Baihua National Nature Reserve in Beijing; Canonical Correspondence Analysis (CCA); environmental variable

植物生存环境中存在很多对其有影响的环境因子, 尤其是苔藓植物, 由于其个体微小, 结构简单, 其生长与分布更易受到影响, 如苔藓植物是环境变化

的指示植物。随着人类社会的发展, 生态环境日益恶化, 植物多样性日益减少, 对环境敏感的苔藓植物多样性保护已刻不容缓。苔藓植物分布广泛, 尤其

收稿日期: 2014-01-11 修回日期: 2014-04-08

基金项目: 北京市自然科学基金(6072006); 北京市教委人才强教计划项目(PHR201008419)。

作者简介: 田晔林(1973-), 女, 博士, 副教授, 从事苔藓植物学及园林植物资源学研究, (E-mail) tianyelin@sina.com。

在生态环境保存较好的森林中,各种环境因子如植被类型、植被所处地带的地形、海拔、湿度、大气污染状况、人类活动的强度、生长基质等均能直接影响苔藓植物的多样性及分布状况(Bates *et al.*, 2004; 谢小伟等, 2003; 吴璐璐等, 2010);此外,微生物对苔藓植物的分布有重要作用(Cole *et al.*, 2008; Hespánhol *et al.*, 2011)。

研究植物与其生存的生态环境之间的关系,典范对应分析(CCA)是常用方法之一,其基本思路是用 CA/RA 对植物种类数据进行排序,得到排序坐标值,然后再与生态环境数据线性结合,且每一步计算结果都与环境因子结合,从而可详细了解植物与其生存的生态环境之间的关系(张金屯, 2004; 刘秋锋等, 2006)。本文在野外调查、室内鉴定标本的基础上,运用典范对应分析(CCA)对北京百花山自然保护区 8 种森林植被地面生苔藓植物的分布与环境因子进行研究,定量分析各种环境因子对该区苔藓植物种类及分布的影响,通过研究苔藓植物与森林植物为该区的苔藓植物多样性保护提供理论基础。

## 1 研究区概况

北京百花山自然保护区位于北京市门头沟区清水镇(115°25′~115°42′ E, 39°48′~40°05′ N)。该区为大陆性季风气候,冬冷夏热,最冷月平均温度-10℃,最热月的平均温度 21℃。年降水量 450~720 mm,其中 78%集中在 6~8 月。年积温 $\geq 3\ 800$ ℃,全年无霜期 110 d 左右。该区位于北京西部,属太行山脉,小五台山余脉,由一系列北东—西南向岭谷相间褶皱山地组成,南北延伸 200 余公里,是北京市地形最高的地区,最高峰为东灵山,海拔 2 303 m。本区的森林植被主要有油松林、栎类林、山杨林、桦树林、云杉、华北落叶松林及草甸等。

## 2 研究方法

2007 年 7—8 月在百花山自然保护区海拔 760~1 827 m 的地带共调查 37 个样地(图 1)、8 种植被类型(表 1),每种类型至少 3 个样地,每个样地 16 m $\times$ 20 m,内设 30 个 50 cm $\times$ 50 cm 小样方,在小样方内用铁丝筛网调查苔藓植物的盖度,筛网分隔成 2 500 个网格,每个网格的大小为 1 cm $\times$ 1 cm。具体方法:记录在网格线交叉处出现的苔藓次数,计算

苔藓植物总盖度(%),以同样方法测量和计算每种苔藓物种的盖度(%);记录所有环境因子(表 1);采集苔藓植物,带回室内用于物种鉴定;将数据输入 CANOCO for Windows 4.5 进行典范对应分析。

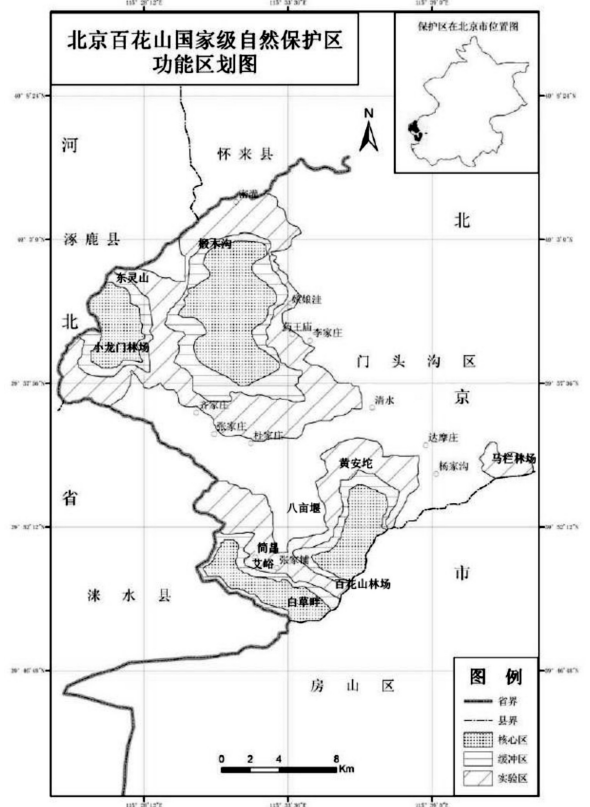


图 1 研究区域地图

Fig. 1 The map of Mt. Baihua

本文所调查的环境因子中有些是定性数据,数据处理时需对定性数据进行处理,根据百花山保护区的实际状况,人为将湿度、人为干扰程度和植被内苔藓植物生长的基质进行编码:(1)湿度分为 5 级,1 表示干燥,2 为较干燥,3 是中等,4 较为湿润,5 是湿润;(2)人为干扰也分为 5 级,1 无干扰,2 较少干扰,3 中等干扰,4 较多干扰,5 干扰大;(3)生长基质分为 4 级(表示植被中苔藓植物生长的基质中土壤和岩石比例),1 表示完全为土生,0.75 表示土生为主(75%土生)岩面生为辅(25%),0.5 表示土生和岩面生各占一半,0.25 表示大部分为岩面生(75%)小部分为土生(25%),0 表示全为岩面生。

## 3 结果与分析

将表 1 中 37 个样地的环境因子及表 2 中 33 种

表 1 百花山保护区 37 个植被的环境因子

Table 1 Environmental factors of 37 forests in in Baihua Mountain National Nature Reserve

样地 Site	海拔 Altitude (m)	乔木郁闭度 Arbor	灌木郁闭度 Shrub	草本层盖度 Herb	凋落物盖度 Litters	土壤 Soil	基质 Base	人为干扰度 Disturb	植被类型 Vegetation type	地点 Location
1	1 636	0.65	0.43	0.94	0.72	4	1	4	白桦 (75%) - 草地 (25%) Birch forest and meadow	灵山(九龙洼) Ling Mountain
2	1 827	0.88	0.65	0.71	0.92	4	0.5	3	白桦林 Birch forest	灵山 Ling Mountain
3	1 645	0.83	0.64	0.87	0.68	4	0.75	2	白桦林 Birch forest	灵山 Ling Mountain
4	1 630	0.49	0.79	0.41	0.82	4	0.5	3	白桦林 Birch forest	灵山(九龙洼) Ling Mountain
5	1 770	0.93	0.48	0.94	0.58	4	0	2	白桦林 Birch forest	百花草甸 Meadow with Hundreds of flowers
6	1 790	0.94	0.49	0.95	0.59	4	0	2	白桦林 Birch forest	百花草甸 Meadow with Hundreds of flowers
7	1 300	0.30	0.10	0.80	0.90	4	0	1	白桦林 Birch forest	小龙门林场 Xiaolongmen Forestry Center
8	1 170	0.90	0.65	0.40	0.95	3	0	2	针阔混交林(核桃楸—华北落叶松) Conifer and broad-leaved mixed forest	小龙门林场 Xiaolongmen Forestry Center
9	1 258	0.89	0.48	0.92	0.84	3	1	1	落叶阔叶混交林(棘皮桦—大叶白蜡—山杨) Forest of Mixed deciduous broadleaved	椴木沟林场 Duanmugou Forestry Center
10	1 258	0.86	0.47	0.93	0.83	3	1	1	落叶阔叶混交林(山杨—大叶白蜡) Forest of Mixed deciduous broadleaved	椴木沟林场 Duanmugou Forestry Center
11	1 459	0.83	0.58	0.87	0.92	3	0.25	1	山杨林 <i>Populus davidiana</i> forest	椴木沟林场 Duanmugou Forestry Center
12	1 468	0.77	0.83	0.93	0.78	3	1	1	山杨林 <i>P. davidiana</i> forest	椴木沟林场 Duanmugou Forestry Center
13	1 030	0.75	0.60	0.75	0.95	4	0.25	3	山杨林 <i>P. davidiana</i> forest	艾峪村 Aiyu Village
14	1 010	0.75	0.45	0.80	0.90	1	0	3	山杨林 <i>P. davidiana</i> forest	艾峪村 Aiyu Village
15	1 024	0.5	0	0.90	0.80	1	0	3	山杨林 <i>P. davidiana</i> forest	艾峪村 iyu Village
16	967	0.90	0.40	0.95	0.95	2	0.25	3	山杨林 <i>P. davidiana</i> forest	简昌村 Jianchang Village
17	967	0.80	0.02	0.50	0.90	2	1	3	山杨林 <i>P. davidiana</i> forest	简昌村 Jianchang Village
18	764	0.73	0.27	0.72	0.91	1	0.25	4	油松林 <i>Pinus tabulaeformis</i> forest	黄塔村 Huangta Village
19	760	0.85	0.21	0.79	0.92	1	0.25	4	油松林 <i>P. tabulaeformis</i> forest	黄塔村 Huangta Village
20	1 150	0.75	0.43	0.60	0.95	4	0.25	2	油松林 <i>P. tabulaeformis</i> forest	小龙门林场 Xiaolongmen Forestry Center
21	1 190	0.75	0.25	0.75	0.87	5	0.5	2	油松林 <i>P. tabulaeformis</i> forest	小龙门林场 Xiaolongmen Forestry Center
22	1200	0.60	0.20	0.80	0.80	1	0.25	1	油松林 <i>P. tabulaeformis</i> forest	小龙门林场 Xiaolongmen Forestry Center
23	1 113	0.60	0.70	0.70	0.90	4	0.25	3	油松林 <i>P. tabulaeformis</i> forest	艾峪村 Aiyu Village
24	1 200	0.81	0.65	0.78	0.80	4	0.5	2	华北落叶松林 Forest of <i>Larix principis-rupprechii</i>	小龙门林场 Xiaolongmen Forestry Center
25	1 180	0.72	0.77	0.90	0.86	3	0.25	1	华北落叶松林 Forest of <i>L. principis-rupprechii</i>	小龙门林场 Xiaolongmen Forestry Center
26	1 075	0.45	0.30	0.85	0.80	4	0.25	2	华北落叶松林 Forest of <i>L. principis-rupprechii</i>	艾峪村 Aiyu Village

续表 1

样地 Site	海拔 Altitude (m)	乔木郁闭度 Arbor	灌木郁闭度 Shrub	草本层盖度 Herb	凋落物盖度 Litters	土壤 Soil	基质 Base	人为干扰度 Disturb	植被类型 Vegetation type	地点 Location
27	1 051	0.85	0.35	0.85	0.50	4	0.5	2	华北落叶松林 Forest of <i>L. principis-rupprechii</i>	艾峪村 Aiyu Village
28	1 340	0.83	0.40	0.90	0.70	4	0	1	核桃楸林 <i>Juglanus mandshurica</i> forest	小龙门林场 Xiaolongmen Forestry Center
29	1315	0.80	0.45	0.90	0.90	4	0	1	核桃楸林 <i>J. mandshurica</i> forest	小龙门林场 Xiaolongmen Forestry Center
30	950	0.50	0.80	0.95	0.85	4	0	2	核桃楸林 <i>J. mandshurica</i> forest	张家铺村 Zhangjiapu Village
31	966	0	0.47	0.80	0.76	1	1	3	荆条灌丛 <i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i> community	张家铺村 Zhangjiapu Village
32	946	0	0.49	0.82	0.79	1	1	3	荆条灌丛 <i>V. negundo</i> var. <i>heterophylla</i> community	张家铺村 Zhangjiapu Village
33	903	0	0.50	0.70	0.80	1	1	2	荆条灌丛 <i>V. negundo</i> var. <i>heterophylla</i> community	八亩堰村 Bamuyan Village
34	898	0	0.87	0.90	0.95	1	1	2	荆条灌丛 <i>V. negundo</i> var. <i>heterophylla</i> community	八亩堰村 Bamuyan Village
35	1 690	0	0	0.91	0.59	1	1	4	亚高山草甸 Subalpine Meadow	百花草畔 Meadow with Hundreds of flowers
36	1 880	0	0	0.95	0.58	1	1	3	亚高山草甸 Subalpine Meadow	灵山 Ling Mountain
37	1 850	0	0	0.95	0.50	1	1	4	亚高山草甸 Subalpine Meadow	灵山 Ling Mountain

表 2 百花山保护区 37 个样地 33 种苔藓植物及其平均重要值

Table 2 Average of the importance of 33 bryophytes at 37 forest sites in Baihua Mountain National Nature Reserve

序号 Order	苔藓植物 Byrophytes	平均重要值 Average of the important value	序号 Order	苔藓植物 Byrophytes	平均重要值 Average of the important value
S1	密叶绢藓 <i>Entodon compressus</i>	11.05	S18	高山紫萼藓 <i>Grimmia montana</i>	1.65
S2	绢藓 <i>E. oladorrhizans</i>	9.35	S19	石生耳叶苔 <i>Frullania inflata</i>	1.54
S17	青藓 <i>Brachythecium albicans</i>	4.39	S20	狭叶小羽藓 <i>Haplocladium angustifolium</i>	1.30
S4	瓦叶假细罗藓 <i>Pseudoleskeella tectorum</i>	3.81	S21	娇美绢藓 <i>Entodon pulchellus</i>	1.23
S5	小凤尾藓 <i>Fissidens bryoides</i>	3.54	S22	柳叶藓 <i>Amblystegium serpens</i>	1.15
S6	平叶毛口藓 <i>Trichostomum planifolium</i>	3.55	S23	小石藓 <i>Weissia controversa</i>	1.13
S7	细叶小羽藓 <i>Haplocladium microphyllum</i>	3.04	S24	羊角藓 <i>Herpetinaxon tocoae</i>	1.11
S8	细绢藓 <i>Entodon giraldii</i>	2.78	S25	扭口藓 <i>Barbula unguiculata</i>	1.11
S9	真藓 <i>Bryum argenteum</i>	2.70	S26	小反扭藓 <i>Timmiella diminut</i>	1.08
S15	金灰藓 <i>Pyloisiella polyantha</i>	2.34	S27	广叶绢藓 <i>Entodon flavescens</i>	1.01
S11	细湿藓 <i>Campylium hispidulum</i>	2.33	S28	尖叶美喙藓 <i>Eurhynchium eustegium</i>	0.97
S12	匍灯藓 <i>Plagiommium cuspidatum</i>	2.24	S29	盔瓣耳叶苔 <i>Frullania muscicola</i>	0.97
S3	红叶藓 <i>Bryoerythrophyllum recurvirostrum</i>	2.24	S30	横生绢藓 <i>Entodon taiwanensis</i>	0.87
S14	细叶真藓 <i>Bryum capillare</i>	2.14	S31	尖叶匍灯藓 <i>Plagiommium acutum</i>	0.83
S13	短柄绢藓 <i>Entodon micropodus</i>	2.10	S32	中华绢藓 <i>Entodon smaragclinus</i>	0.84
S10	钝叶绢藓 <i>E. obtusetus</i>	1.93	S33	羽枝青藓 <i>Brachythecium plumosum</i>	0.75
S16	亚美绢藓 <i>E. sullivantii</i>	1.75			

苔藓植物的重要值(表 2)数据输入 CANOCO for Windows 4.5 进行典范对应分析,得到图 1 和图 2。

在前 3 个排序轴中,与种类排序效果有关的特征数值是 0.822,0.698 及 0.608,说明排序轴能很好地分析苔藓植物物种之间的关系。物种和环境因子

排序轴之间的相关系数为 0.963,0.914 和 0.900,数值都较高,表明排序能充分说明苔藓植物与其生存的生态环境因子的关系。

环境因子与物种第一轴的关系中人为干扰的数值最大,为 0.3406(表 3),为正相关;与乔木郁闭度

表 3 苔藓物种排序轴、环境因子与排序轴间的相关系数  
Table 3 Correlation coefficients of bryophytes axes and environmental variables

	第一轴 AX1	第二轴 AX2	海拔 Altitude	乔木 Arbor	灌木 Shrub	草本 Herb	凋落物 Litters	土壤 Soil	基质 Base	人为干扰 Disturb
第一轴 AX1	1									
第二轴 AX2	0.0047	1								
海拔 Altitude	0.0596	0.3602	1							
乔木 Arbor	-0.8448	-0.2939	-0.0085	1						
灌木 Shrub	0.1041	-0.5647	-0.0029	0.2246	1					
草本 Herb	0.2166	-0.3263	0.2173	-0.1071	-0.0225	1				
凋落物 Litters	-0.2204	-0.1816	-0.5438	0.1441	0.218	-0.4511	1			
土壤 Soil	0.2291	0.1435	0.4946	-0.1497	0.1977	0.1306	-0.301	1		
基质 Base	0.1714	0.5025	0.1587	-0.349	-0.038	0.0498	-0.2104	0.1045	1	
人为干扰 Disturb	0.3406	0.3445	-0.0637	-0.2672	-0.277	-0.2532	-0.0452	-0.1702	0.1802	1

的关系为负值-0.8448,呈负相关。苔藓植物的生长基质与第二轴相关性最大,0.5025,呈正相关,其次为海拔,为 0.3445,与灌木郁闭度负相关最大,为-0.5647。通过分析得出:苔藓植物生长的基质、海拔、人为干扰、乔木郁闭度及灌木盖度综合影响百花山保护区地面苔藓植物的分布。

从表 3 看出,8 个环境因素之间的相关程度。海拔与土壤湿度呈正相关,为 0.4946。乔木和灌木的相关性较大,为 0.2246;海拔与凋落物的负相关最大,为-0.5438;草本盖度与凋落物的负相关较大,为-0.4511,乔木和基质负相关也大,为 0.349。

### 3.1 样地与环境因子排序

应用 CCA 对表 1 中 37 个样地的环境因子和表 2 中 33 种苔藓植物的平均重要值进行排序得到样地与环境因子的二维排序图,见图 1。由于百花山自然保护区的森林植被主要为次生林和人工林,加之旅游开发较早,游人日益增多等人为干扰,森林植被与环境因子的关系呈现出多元化的特点。

3.1.1 相同的植被聚为一组 天然草甸自成 1 组,为样地 35、36 和 37,由于天然草甸分布的海拔均在 1 700 m 以上,很少受到人类活动的影响,所以草甸的植物长势好,盖度很大,在草甸中的苔藓植物只能生长在岩面、岩石基部、岩缝或是偶尔露出来的土壤上,因此,苔藓植物的种类极少,盖度也极小。荆条灌丛聚为 1 组,分别为样地 31、32、33 和 34,四个样地共同环境因子是海拔不高(898~966 m),位于阳坡且极干燥,无乔木层,灌木郁闭度、草本层盖度和凋落物盖度都较高(表 1)。因此,鲜有苔藓植物生长,苔藓植物仅分布在灌丛基部土壤或是岩石上,且以顶蒴藓类为主。混交林聚在 1 组,本文调查 1 个针阔混交林和 2 个落叶阔叶混交林,它们都分布在人类活动少的沟谷地,植被内土壤湿度和空气湿度

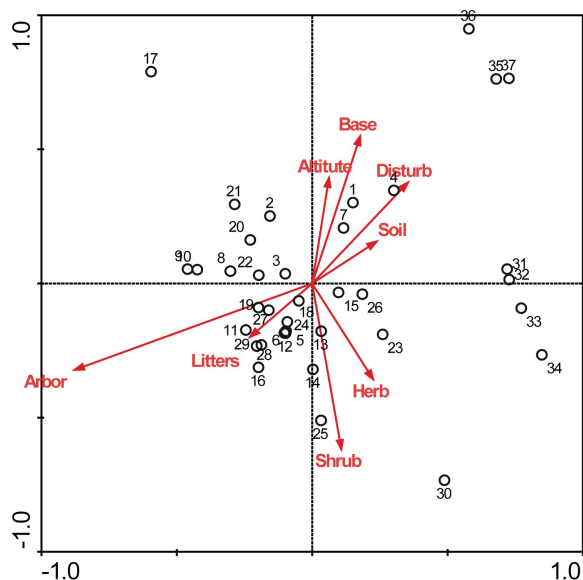


图 2 百花山保护区 37 个森林植被样地与环境因子间的 CCA 二维排序图 图中英文表示见表 1

Fig. 2 CCA two-dimensional ordination diagram of 37 forest sites and environmental factors in Baihua Mountain National Nature Reserve

高,土生苔藓植物种类较多。油松林排为 1 组,为小龙门林场的样地 20、21 和 22 号,三个样地的环境因子的共性是灌木盖度小,为 20%~45%,人为干扰程度也较小;三者与乔木郁闭度成正相关。

3.1.2 环境因子相似的植被聚为一组 如样地 15、23 和 26 分别是山杨林、油松林和华北落叶松林。三个样地与草本层的盖度关系密切。样地 13、14 和 25 归为一组,样地 13 和 14 为山杨林,而 25 为华北落叶松林,三个样地均与灌木层盖度相关性大。

3.1.3 植被相同环境因子不同归为不同组 最典型的例子为白桦林,本研究共调查 7 个样地,但是它们分别归为三个不同的组,其中样地 1、4 和 7 为一组,



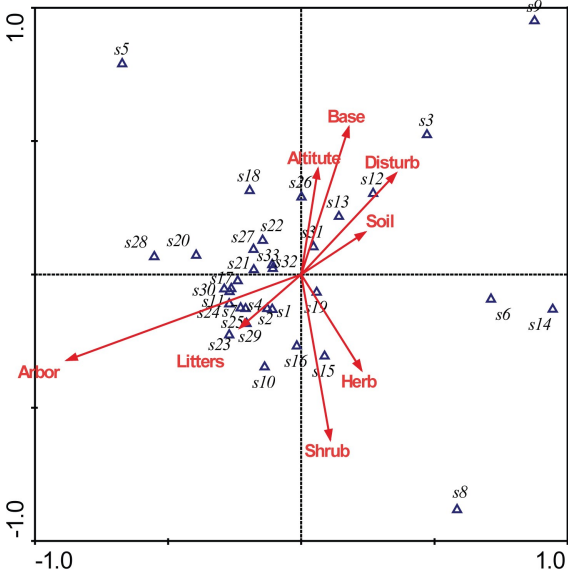


图3 百花山自然保护区地面生苔藓植物与环境因子间的 CCA 二维排序图 (图中英文表示见表1)

Fig. 3 CCA two-dimensional ordination diagram of 33 bryophyte species-environmental factors at the main eco-systems in Mt. Baihua

三个样地与人为干扰和基质的类型密切相关,与实际调查结果一致;样地 5、6 归为一组,来自百花山草甸,样地所处的环境开阔,但草本层盖度大;而样地 2 和 3 与海拔的关系相关。

3.1.4 生境特殊的植被自成一组 在野外调查中发现一些植被样地的生境很特殊,在室内分析排序中它们自成一组。如样地 17 自为一组,其为简昌村村后的山杨林,该样地中灌木极少,草本层极不发达,但地面几乎都被凋落物的盖满了,因此林内苔藓植物极少,这与其它 6 个山杨林样地的环境因子迥异(表 1)。又如调查的 3 个核桃楸林,其中分布在张家铺的 30 号样地的生境与小龙门林场的 2 个样地迥异,三者的生境都很湿润,尤其是分布在溪流边的 30 号样地,但其草本层盖度、灌木盖度和凋落物盖度都很大(表 1),苔藓植物生长基质仅有岩石,因此它在排序中自为一组。

### 3.2 苔藓植物与环境因子的关系

通过苔藓植物的平均重要值与 37 个样地的环境因子结合进行典范对应分析,得到苔藓植物种类与环境因子的二维排序图(图 3)。从图 3 可知,第 1 排序轴从左到右说明了 37 个森林植被样地所处的海拔从低到高、苔藓植物生长的基质中岩石和土壤所占比例的变化从大到小及样地受人类活动影响程

度从小到大的情况,同时可得知样地内乔木郁闭度和地面凋落物盖度的变化从大到小,沿第 2 轴可看出植被内灌木盖度的变化大小的情况。由苔藓植物本身的生物学特性及跟生态环境因子的相互关系,得出百花山保护区森林植被中 33 种地面生苔藓植物在典范对应分析排序图中的位置。

3.2.1 土生苔藓植物的分布与人为干扰相关 图 2 表明,S31、S13、S12、S3、S9 及 S26 与基质的类型、人为干扰、海拔呈正相关,它们都为土生藓类。草本层盖度和凋落物盖度都直接影响苔藓生长的基质存在与否,将林内的凋落物移走,苔藓植物和草本层植物的丰富度均有所增加(陈子林等,2009)。S31、S12 分布即是如此,它们分布在受到人为干扰而露出土壤的植被中。

3.2.2 多数藓类的分布与乔木郁闭度相关 凡影响光照强度的环境因子,均能影响苔藓植物的分布,森林生态系统中影响苔藓植物分布的环境因子有乔木郁闭度、幼苗密度、灌木盖度等(陈子林等,2009)。本研究中 S32、S33、S17、S11、S24、S30、S20、S21、S22、S23、S27、S28、S7、S4、S25、S1、S2 和 S9 等 18 种苔藓植物的分布与乔木郁闭度呈正相关,占所研究苔藓植物的 54.5%。佛坪山的研究结果与本研究结果不同,如乔木郁闭度、坡度对佛坪保护区地面生苔藓植物分布影响较小,而海拔、苔藓植物的生长基质、草本层和灌木层的盖度等直接影响苔藓植物的分布(李粉霞等,2006)。本研究中,S7、S4、S25、S24、S1、S2 和 S9 除与乔木郁闭度相关外,还与凋落物的盖度呈正相关强。对地面生苔藓植物分布有影响的最重要因素之一是凋落物盖度,此外植被内幼苗的密度、光照也是影响苔藓植物分布的主要因素(Márialigeti *et al.*, 2009)。山杨(*Populus davidiana*)林内的凋落物通过异株克生直接影响地面生苔藓植物的分布(Startsev *et al.*, 2008)。另外,在第一排序轴上明显可看出 18 种苔藓植物的生长基质以岩石为主。

### 3.2.3 少数种类与草本层和灌木的盖度呈正相关

图 2 显示,S19、S16 和 S15 三种苔藓植物与草本层盖度和灌木盖度相关性最大。分布有这三种苔藓植物的样地的共性都是灌木盖度小,在 20%~49%之间,而草本层的盖度都大于 80%。S8 分布的核桃楸林,草本层盖度高达 95%,在图 2 中也显示出它与草本层盖度呈正相关。灌木盖度影响苔藓植物的分布,如长白山哈泥泥炭地 7 种苔藓与环境因子关系

二维排序图表明水位埋深、沼泽水 pH 以及乔木郁闭度和灌木盖度是影响泥炭地苔藓植物生态位分异的主要环境因子(陈旭等,2008)。

3.2.4 排序图反映部分种类生境的特殊性 S5、S6 和 S14 的出现频率低,但在样地内重要值大。如 S5 分布在生境良好的椴木沟林场的混交林内和小龙门林场的油松林内的土壤或岩面;而 S6 和 S14 都为土生藓类,为干旱的荆条灌丛内的优势种。图 2 能充分说明了 33 种苔藓植物与生态环境之间的关系,其中对森林植被中苔藓植物分布影响最大的环境因子是乔木郁闭度,其次是凋落物盖度、海拔、苔藓植物生长的基质、灌木盖度和人为干扰。

## 4 讨论与结论

研究结果表明,乔木层的郁闭度、海拔、灌木层的盖度、苔藓植物生长的基质及人为干扰是影响该区地面生苔藓植物分布的重要环境因子。由于百花山保护区的森林植被主要为次生林和人工林,加之旅游开发较早,游人日益增多,导致森林植被与其生存的生境之间的关系日益多元化,通过典范对应分析法得出的样地与环境因子的二维排序图再现这一多元化的特点,如相同的植被聚为一组、环境因子相似的植被聚为一组、植被相同环境因子不同归为不同组和生境特殊的植被自成一组等。苔藓植物种类和环境因子的二维排序图表明乔木郁闭度对苔藓植物的分布影响最大,其次是凋落物盖度、海拔、基质、灌木盖度和人为干扰。

百花山保护区森林植被中土壤的湿润程度对苔藓植物的分布影响不大,源于森林植被中裸露的土壤少,土生苔藓植物通常分布在树基部,苔藓植物以生长在岩面的居多,其次是该区的降雨集中在夏季,其它的季节降雨量不大,在漫长的历史中苔藓植物完全适应了该区的气候条件,从而形成了相应的生存策略,在区系研究中发现该区的丛藓科植物占绝对优势,其次为真藓科植物,说明经过长期演化该区的苔藓植物能适应或是能忍受周期性间歇干旱的生境。在向阳且开阔、人为干扰大的生境中,丛藓科、真藓科植物分布较多,它们具有“先锋植物”的特性,类似种子植物的“杂草”(谢小伟等,2003)。本研究

中百花山保护区的草甸、荆条灌丛仅有丛藓科和真

## 参考文献:

- Bates JW, Roy DB, Preston CD. 2004. Occurrence of epiphytic bryophytes in a tetrad transect across southern Britain. 2. Analysis and modeling of epiphyte-environment relationships[J]. *J Bryol*, **26**:181-197
- Chen X(陈旭), Bu ZJ(卜兆君), Wang SZ(王升忠), et al. 2008. Relationships between distribution of 7 bryophyte species and environmental factors in Hani Peatland in Changbai Mountains (长白山哈泥泥炭地 7 种苔藓分布与环境关系研究)[J]. *Wetland Sci(湿地科学)*, **6**(2):310-314
- Cheng ZL(陈子林), Cheng JW(陈家伟), Guo SL(郭水良), et al. 2009. Canonical correspondence analysis of saxicolous moss species, their distribution and environmental factors in Dapan Mountain(大盘山石生藓类植物及其分布与环境因素的典范对应分析)[J]. *J Cent S Univ For & Technol(中南林业科技大学学报)*, **29**(2):87-92
- Cole HA, Newmaster SG, Bell FW, et al. 2008. Influence of microhabitat on bryophyte diversity in Ontario mixed wood boreal forest[J]. *CAN J For Res*, **38**(7):1 867-1 876
- Helena H, Ana S, Rui F, et al. 2011. Microhabitat effects on bryophyte species richness and community distribution on exposed rock outcrops in Portugal[J]. *Plant Ecol Divers*, **4**(2-3):251-264
- Li FX(李粉霞), Wang YF(王幼芳), Zhan QF(詹琪芳), et al. 2006. Species diversity of floor bryophyte communities in Foping Nature Reserve(佛坪自然保护区地面生苔藓植物物种多样性)[J]. *Chin J Plant Ecol(植物生态学报)*, **30**(6):919-923
- Liu QF(刘秋锋), Kang MY(康慕谊), Liu QR(刘全儒). 2006. Quantitative classification and environmental interpretation of forest tree species in Hungou, Zhongtiao Mountain(中条山混沟地区森林乔木种的数量分类与环境解释)[J]. *Chin J Plant Ecol(植物生态学报)*, **30**(3):383-391
- Márialigeti S, Németh, Tinya F. et al. 2009. The effects of stand structure on ground-floor bryophyte assemblages in temperate mixed forests[J]. *Biodivers Conserv*, **18**(8):2 223-2 241
- Startsev N, Lieffers VJ, Landhausser SM. 2008. Effects of leaf litter on the growth of the boreal feather mosses: implication for the forest floor development[J]. *J Veg Sci*, **19**:253-260
- Wu LL(吴璐璐), Ji MC(季梦成), Yan XL(严雄梁). 2010. Study on the relationships between terrestrial bryophytes and environmental factors in Yangjifeng Nature Reserve, China(阳际峰自然保护区地面生苔藓植物分布与环境因子关系研究)[J]. *J Wuhan Bot Res(武汉植物学研究)*, **28**(3):324-329
- Xie XW(谢小伟), Guo SL(郭水良), Huang H(黄华). 2003. A study of the relationships between terrestrial bryophytes and their environmental factors in Jinhua City, Zhejiang(浙江金华市地面苔藓植物分布与环境因子关系研究)[J]. *J Wuhan Bot Res(武汉植物学研究)*, **21**(2):129-136
- Zhang JT(张金屯). 2004. Quantitative Ecology(数量生态学)[M]. Beijing(北京):Science Press(科学出版社)